

PENGARUH VARIASI MASSA REFRIGERAN R410A PADA SISI LOW STAGE TERHADAP KINERJA MESIN PENDINGIN CASCADE

Muhammad Hasan Basri⁽¹⁾, Mustafa⁽²⁾, Khairil Anwar⁽³⁾

^{(1),(2),(3)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Tadulako

Kampus Bumi Tadulako Tondo, Palu – Sulawesi Tengah

email: muhhasanbasri@gmail.com, kh41ril@yahoo.com

Abstract: The effect of R410 Refrigerant Mass Variation of The Low Stage Side on Performance of Cascade Engine Cooling. The aim of this research is to determine the effect of changes in the mass variation of refrigerant R410A in the Low - Stage Cooling on the coefficient of performance of the cascade refrigeration . The benefits of this research is to contribute valuable knowledge in the field of refrigeration, especially in the areas of health , agriculture and fisheries . The research method used is to perform testing or direct observation of the cascade refrigeration by replacing the stuffing or the mass of refrigerant in the low - stage of cascade system. Variation of refrigerant mass is 180, 190 and 200 gram. Any variations were observed mass of the pressure and temperature at a predetermined test points. The results showed that at the same time the rising in cooling capacity of the machine cascade with increasing refrigerant mass speed. With a mass of 180 gram showed a significant increase in weight compared to other masses, where a higher cooling capacity kW at 0.39 and coefficient of performance is 1.23.

Keywords : Mesin refrigerasi, cascade, refrigeran R410A

Abstrak: Pengaruh Variasi Massa Refrigeran R410A Pada Sisi Low Stage Terhadap Kinerja Mesin Pendingin Cascade. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan variasi massa refrigeran R410A pada sisi Low-Stage terhadap kinerja mesin Pendingin cascade. Manfaat penelitian ini adalah untuk memberikan kontribusi pengetahuan yang berharga dalam bidang refrigerasi, terutama pada bidang kesehatan, sektor pertanian dan perikanan. Metode Penelitian yang digunakan adalah melakukan pengujian atau pengamatan langsung terhadap mesin pendingin cascade dengan mengganti isian atau massa dari refrigerant pada sisi low-stage sistem mesin cascade. Variasi massa refrigeran yaitu 180 gr, 190 gr dan 200 gr. Setiap variasi massa dilakukan pengamatan terhadap tekanan dan temperature pada titik uji yang telah ditetapkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kapasitas pendinginan pada mesin cascade seiring dengan peningkatan laju aliran massa refrigeran. Dengan massa sebesar 180 gr menunjukkan peningkatan yang signifikan dibandingkan dengan berat yang lain, dimana kapasitas pendinginannya lebih tinggi sebesar 0.39 kW dengan koefisien prestasi 1.23.

Kata Kunci: Refrigeration machines, cascade, refrigerant R410A

PENDAHULUAN

Mesin pendingin atau mesin refrigerasi pada saat ini telah menjadi kebutuhan dasar bagi sebagian besar masyarakat baik di perkotaan maupun di pedesaan karena fungsinya yang penting. Aplikasi penting mesin pendingin terutama untuk pengawetan atau pendinginan bahan pangskala rumah tangga dan sektor pertanian serta pengawetan obat-obatan pada bidang kesehatan. Selain itu, Kegunaan lainnya adalah untuk pengkondisian suatu ruangan, pendingin minuman, dan pengatur kelembaban. Di industri manufaktur, mesin pendingin diperlukan untuk proses pemadatan suatu zat didalam campuran,

memisahkan suatu zat dari zat lain, pemisahan gas, dan lain sebagainya. Untuk kebutuhan pengawetan atau pendinginan bahan makanan dan minuman, pengolahan gas dan bahan kimia, serta penyimpanan obat-obatan, biasanya diperlukan keadaan wadah dengan temperatur yang cukup rendah, antara -20°C sampai -75°C (Bugaard, 2010).

Menurut Hozos (2005), Temperatur dan rasio kompresi yang besar dibutuhkan pada pendinginan ultra-low temperature tidak maksimal diperoleh pada sistem mesin pendingin kompresi uap tunggal, sehingga menyebabkan performa yang kurang baik pada kompresor. Salah satu cara untuk mengatasi kondisi tersebut di atas adalah

dengan membuat proses refrigerasi dalam beberapa tingkat, yang memiliki dua atau lebih siklus refrigerasi yang beroperasi secara seri, yang disebut sebagai siklus refrigerasi cascade. Untuk kapasitas pendingin yang sama, sistem cascade menghasilkan temperatur evaporasi, temperatur discharge kompresor dan rasio kompresi yang lebih rendah, dan efisiensi volumetrik kompresor yang lebih tinggi.

Dalam prakteknya, susunan cascade alternatif memanfaatkan kondensor yang sama dengan rangkaian booster untuk menghasilkan dua temperatur evaporator (Dincer dan Kanoglu, 2010). Susunan cascade memungkinkan salah satu unit yang akan dioperasikan pada temperatur dan tekanan rendah daripada yang akan mungkin dengan jenis yang sama dan ukuran sistem tunggal. Hal ini juga memungkinkan dua refrigeran yang berbeda dapat digunakan, dan mungkin menghasilkan temperatur di bawah -150°C (Althouse, et.al, 2004).

Keuntungan yang paling penting lainnya dari sistem cascade ini adalah bahwa refrigeran dapat dipilih dengan sifat yang tepat, menghindari dimensi besar untuk komponen sistem. Dalam sistem ini beberapa evaporator dapat dimanfaatkan dalam setiap satu tingkat kompresi. Refrigeran yang digunakan dalam setiap tingkat mungkin berbeda dan dipilih untuk kinerja optimal pada temperatur evaporator dan kondensor yang diberikan. Beberapa di antaranya telah dilakukan penelitian, misalnya Fiori, dkk (2012) telah melakukan pengujian pada sistem cascade dengan menggunakan pasangan refrigeran R-22 dan R404a yang dievaluasi secara teoritis dan experimental. Begitu pula halnya yang telah dilakukan oleh Pyasi dan Gupta (2011), yang menggunakan Refrigeran R-404a pada high stage dan R-508b yang memiliki titik didid rendah dan menguntungkan pada sisi low stage. Sedangkan menurut Xie dkk (2008) yaitu Refrigeran R-290/R170 yang dapat digunakan untuk mensubstitusi Refrigeran R22/R23 pada sistem cascade karena diperoleh performa yang hampir sama, serta Campuran azeotrope carbondioxide dan ethane-propane (R744+R170 dan R290) juga telah dipromosikan sebagai solusi alternatif yang prospektif dalam penggunaan

refrigeran HFC pada sistem refrigerasi cascade untuk aplikasi biomedical cold storage (Alhamid, dkk, 2010).

Untuk memperoleh kondisi yang memiliki temperatur yang cukup rendah dan sekaligus performa yang efisien, juga sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yang berkaitan dengan temperatur, tekanan dan geometri sistem itu sendiri. Pada sistem refrigerasi cascade, variasi panjang pipa kapiler akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap temperatur evaporasi low stage, karena akan menghasilkan perbedaan temperatur pada alat penukar kalor (Pradipta, 2012). Selain itu, untuk mendapatkan performa sistem cascade yang optimal, dapat juga dilakukan dengan variasi terhadap tekanan pada sistem low-stage dengan acuan pada tekanan discharge line. Variasi tekanan dapat diperoleh dengan cara mengubah jumlah massa refrigeran yang bersirkulasi. Perubahan tekanan ini akan berdampak pada perubahan parameter-parameter yang lain seperti temperatur, laju aliran massa, selisih entalpi kompresi dan kapasitas refrigerasi (Redford, 2008).

Berkaitan dengan massa refrigeran yang divariasikan, perubahan jumlah massa refrigerant juga sangat berpengaruh pada daya kompresor yang dihasilkan dan efek refrigerasi serta COP mesin pendingin (Wibowo dkk, 2006).

Selain itu, kinerja mesin cascade dengan menggunakan refrigeran R134a pada sisi high stage dan R410A pada sisi low stage menunjukkan koefisien prestasi yang rendah pada massa tertentu (Hasan Basri dkk, 2013).

Berdasarkan hal-hal tersebut di atas, peneliti melakukan pengujian yang lain untuk mengetahui pengaruh perubahan massa refrigeran R410A pada sisi low stage dari prototype sistem mesin pendingin cascade yang telah dibuat sebelumnya.

TUJUAN PENELITIAN

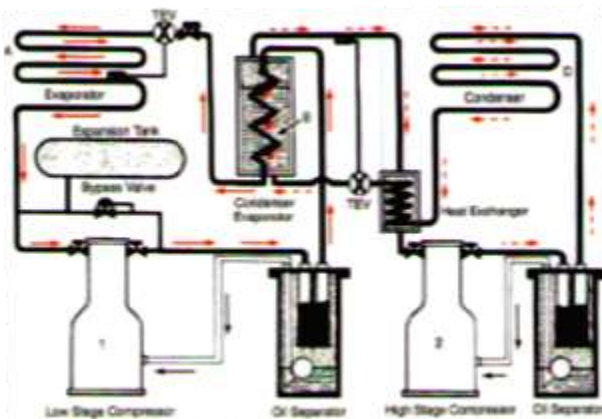
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi massa refrigeran R410A pada sisi low stage terhadap kinerja protoipe mesin pendingin cascade.

MANFAAT PENELITIAN

Manfaat penelitian yaitudapat memberikan kontribusi pengetahuan yang berharga dalam bidang refrigerasi, terutama pada bidang kesehatan, sektor pertanian dan perikanan.

Sistem Mesin Pendingin Cascade

Mesin pendingin cascade merupakan mesin refrigerasi bertingkat, yang memiliki dua atau lebih siklus refrigerasi yang beroperasi secara seri. Gambar 1 dibawah ini memperlihatkan skema sederhana dari suatu sistem mesin pendingin cascade.



Gambar 1. Sistem refrigerasi cascade dua tingkat (sumber: Dincer, 2010)

Sebuah sistem cascade dua tingkat beroperasi dengan dua unit kompresi uap terpisah dengan refrigeran yang berbeda dan saling berhubungan di mana evaporator dari satu sistem yang digunakan untuk melayani kondensor pada sistem temperatur yang lebih rendah (evaporator dari unit pertama mendinginkan kondensor dari unit kedua).

Untuk mengetahui performa dari sistem refrigerasi cascade dapat digunakan beberapa rumusan termodinamika sebagai berikut:

Daya Kompresor

$$W_{Comp.} = \dot{m}(h_{out} - h_{in}), [kW] \quad (1)$$

$$W_{Comp_LS} = \dot{m}_{LS}(h_2 - h_1), [kW] \quad (2)$$

$$W_{Comp_HS} = \dot{m}_{HS}(h_6 - h_5), [kW] \quad (3)$$

$$W_{total} = W_{Comp_LS} + W_{Comp_HS}, [kW] \quad (4)$$

Laju perpindahan Kalor yang dilepas oleh Kondensor

$$Q_{Cond_HS} = \dot{m}_{HS}(h_7 - h_6), [kW] \quad (5)$$

Kapasitas Pendingin :

$$Q_{Evap_LS} = \dot{m}_{LS}(h_1 - h_4), [kW] \quad (6)$$

Untuk menghubungkan dua sistem tunggal, maka digunakan alat penukar panas (*heat exchanger*). Alat ini berfungsi sebagai evaporator pada *high staged* dan sebagai kondensor pada *low stage*. Untuk kesetimbangan energinya, maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$Q_{Cas_Kond_LS} = Q_{Cas_Evap_HS}, [kW] \quad (7)$$

$$\dot{m}_{LS}(h_2 - h_3) = \dot{m}_{HS}(h_5 - h_8) \quad (8)$$

Coeffisient Of Performance (COP) Sistem Cascade :

$$COP = \frac{Q_{Evap_LS}}{W_{total}} \quad (9)$$

atau

$$COP = \frac{\dot{m}_{LS}(h_1 - h_4)}{\dot{m}_{LS}(h_2 - h_1) + \dot{m}_{HS}(h_6 - h_5)} \quad (10)$$

Desain Heat Exchanger

Alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) adalah alat yang dibuat untuk memindahkan kalor dari satu fluida ke fluida yang lain. Pada umum fluida tersebut dipisahkan oleh dinding sehingga keduanya tidak dapat tercampur. Alat penukar kalor secara luas digunakan pada mesin refrigerasi, pembangkit listrik (*Power Plants*), industri kimia, industri perminyakan dan masih banyak lagi peralatan yang menggunakannya.

Beberapa penelitian yang berhubungan dengan heat-exchanger antara lain; Hosoz (2005), melakukan penelitian mengenai perbandingan kinerja mesin refrigerasi siklus tunggal dan *cascade*. Hasil dari penelitian tersebut menyatakan bahwa kinerja (diukur dalam *Coefecient Of Performance*) mesin refrigerasi cascade ternyata lebih rendah dibandingkan siklus tunggal karena kerugian kalor di alat penukar kalor. Selain itu, Gettu dkk (2008), melakukan analisa termodinamika mengenai pengaruh alat penukar kalor terhadap kinerja optimum mesin refrijerasi *cascade* karbon dioksida dan ammonia yang memperoleh hasil bahwa COP maksimum diperoleh pada temperatur

alat penukar kalor tertentu dengan beda temperatur seminimal mungkin.

Effectiveness (ϵ) cascade heat exchanger memiliki tren yang menurun seiring dengan naiknya beban pendinginan, hal ini diakibatkan karena kemampuan menukarkan panas pada *cascade heat exchanger* adalah konstan, sedangkan panas yang harus ditukar pada heat exchanger semakin meningkat seiring naiknya laju aliran massa refrigeran (Safitra dan Putra, 2013).

Desain alat penukar kalor yang dibuat pada protipe mesin pendingin cascade adalah tipe shell and tube. Desain alat penukar kalor dapat dilihat pada gambar 2 berikut ini.



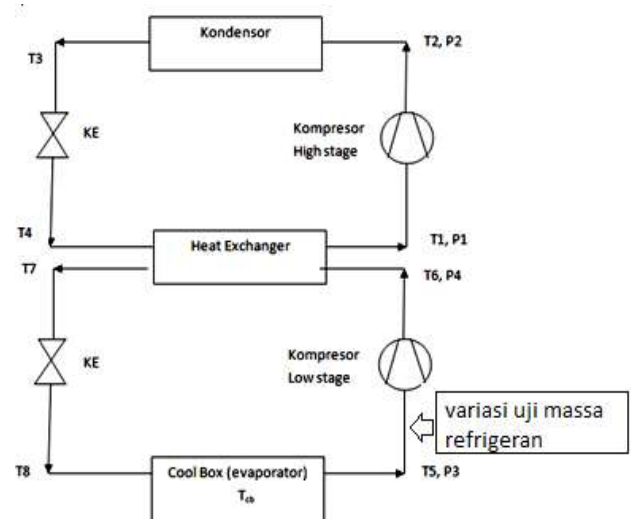
Gambar 2. Desain Heat Exchanger prototipe mesin cascade

METODE PENELITIAN

Pengujian dilakukan dengan melakukan pengamatan langsung terhadap mesin uji dengan mengganti isian atau massa dari refrigeran pada sisi low-stage mesin cascade. Variasi massa refrigeran yang dimasukkan kedalam sistem yaitu 180 gr, 190 gr dan 200 gr.

Setiap pengujian variasi massayang dimasukkan pada sistem di sisi low-stage, maka dilakukan pencatatan terhadap tekanan dan temperature pada titik uji yang telah ditentukan seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 berikut ini.

Pengamatan dan pencatatan parameter dilakukan melalui alat ukur barometer dan termokopel yang dipasang pada titik-titik uji. Pencatatan dilakukan setiap 3 menit dalam rentang waktu 1 jam.



Gambar 3. Skema uji massa refrigeran mesin cascade

Adapun data yang akan diambil adalah:

- T1 = Temperatur keluar evaporator
- T2 = Temperatur keluar kompresor
- T3 = Temperatur keluar heat exchanger LS
- T4 = Temperatur masuk evaporator
- T5 = Temperatur masuk kompresor HS
- T6 = Temperatur keluar kompresor HS
- T7 = Temperatur keluar kondensor HS
- T8 = Temperatur masuk heat exchange HS
- P1 = Tekanan masuk kompresor LS
- P2 = Tekanan keluar kompresor LS
- P5 = Tekanan masuk kompresor HS
- P6 = Tekanan keluar kompresor HS
- I = Kuat arus
- V = Tegangan listrik

Spesifikasi komponen utama yang digunakan pada prototype mesin refrigerasi sistem cascade adalah:

- Kompresor High stage: Danfoss SC15G
- Kompresor Low stage: Panasonic 2PS164D
- Kondensor: Optyma 114X0499
- Katup Ekspansi High stage: TEV Teddington
- Katup Ekspansi Low stage: Pipa kapiler dengan diameter dalam 0.6 mm dan panjang 1.9 m.
- Filter Drier
- Evaporator/ Cool box: dimensi kabin: 49.5 cm x 49.5 cm x 49.5 cm. panjang pipa: 17 m diameter pipa: 1/4".
- Heat exchanger: Shell and tube heat exchanger type one shell and three tube passes heat exchanger. Dimensi tube: panjang: 105 mm; id : 8,5 mm; od: 9,5

mm. Dimensi shell: panjang = 36 mm; id = 52 mm; od: 53,9 mm, dan menggunakan 13 buah baffle.

Prototipe mesin cascade seperti yang diperlihatkan pada gambar 4 berikut ini, merupakan rancang bangun mesin pendingin cascade untuk skala laboratorium.

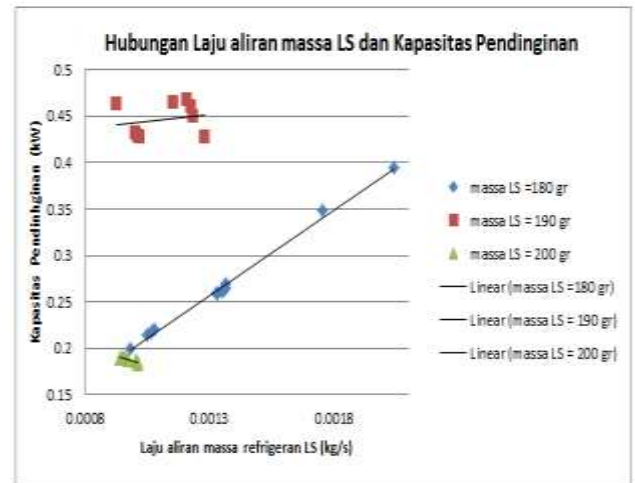


Gambar 4. Prototype mesin uji cascade

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian dari prototype sistem mesin pendingin cascade selama 1 jam penuh menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kapasitas pendinginan pada mesin cascade seiring dengan peningkatan laju aliran massa refrigeran.

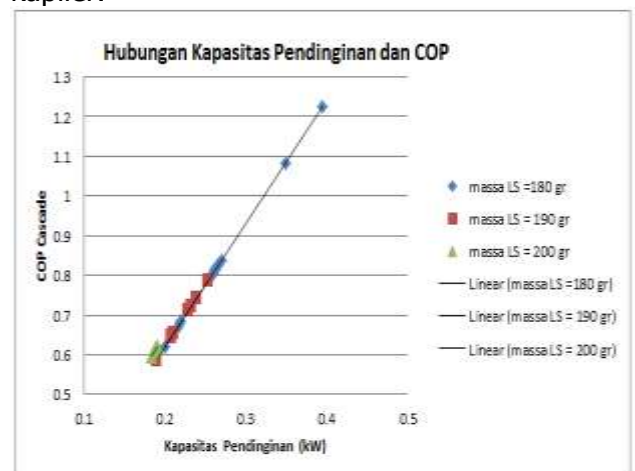
Pada gambar 5 memperlihatkan bahwa untuk massa/berat 190 gr mempunyai kapasitas pendinginan yang lebih besar dibandingkan massa yang lain. Kapasitas pendinginan tertinggi dari variasi massa yang ada sebesar 0.47 kW dan terendah sebesar 0.18 kW. Meskipun demikian, untuk massa yang sesuai dengan kondisi mesin cascade saat ini seberat 180 gr, maka kapasitas pendinginan yang diperoleh sebesar 0.39 kW.



Gambar 5. Grafik hubungan laju aliran massa LS terhadap kapasitas pendinginan

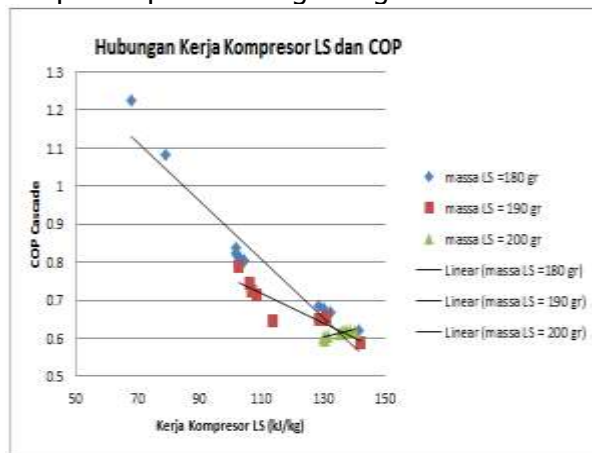
Sedangkan pada gambar 6 dibawah menunjukkan bahwa hubungan kapasitas pendinginan dengan koefisien prestasi mesin cascade terjadi hubungan linear, dimana bertambahnya kapasitas pendinginan menyebabkan koefisien prestasi juga akan naik.

Untuk massa sebesar 180 gr lebih menunjukkan peningkatan yang signifikan dibandingkan dengan berat yang lain. Koefisien prestasi tertinggi dicapai pada massa refrigeran 180 gr sebesar 1.23, sedangkan koefisien prestasi paling rendah pada kondisi massa 190 gr yaitu sebesar 0.58. Hal ini berkaitan dengan kondisi temperatur subcooling refrigeran keluar heat exchanger dan saat masuk melewati pipa kapiler.



Gambar 6. Grafik hubungan Kapasitas Pendinginan terhadap koefisien prestasi

Dari grafik juga terlihat bahwa koefisien prestasi mesin cascade sangat kecil. Hal ini disebabkan karena daya kompresor yang terlalu tinggi dibandingkan dengan besarnya kapasitas pendinginan. Selain itu, kondisi mesin cascade yang belum terpasang penampung refrigeran juga sangat mempengaruhi kondisi temperatur refrigeran. Disisi lain pada gambar 7 menunjukkan hubungan antara kerja kompresor LS dengan koefisien prestasi menunjukkan bahwa terjadi hubungan terbalik, dimana Koefisien prestasi akan menurun jika kerja kompresor meningkat. Penurunan prestasi ini pula diperoleh dari penambahan kerja dari kompresor pada sisi high-stage cascade.



Gambar 7. Grafik hubungan Kerja kompresor terhadap koefisien prestasi

Pada gambar 7 juga memperlihatkan bahwa kerja kompresor lebih baik pada massa refrigeran 180 gr dibandingkan dengan massa yang lainnya. Koefisien prestasi mesin tertinggi 1.23 dicapai pada kondisi kerja kompresor sebesar 68.1 kJ/kg. Walaupun demikian, gabungan dari kerja kompresor ini tetap akan menambah potensi prestasi mesin berkurang jika tidak dibarengi dengan peningkatan kapasitas pendinginan.

Dari gambaran ketiga grafik diatas menunjukkan bahwa mesin cascade masih jauh dari kesempurnaan. Meskipun demikian, penelitian ini masih akan terus berlanjut sampai diperoleh kinerja dari sistem yang dibangun menghasilkan hasil optimal dan temperatur cool box yang lebih rendah lagi.

Variasi desain dari heat-exchanger, penggunaan alat ukur yang presisi dan refrigeran yang asli juga sangat penting agar

didapat data pengujian yang lebih baik dan dapat dipertanggungjawabkan.

SIMPULAN

Dari pembahasan diatas dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu variasi massa refrigeran yang tepat digunakan pada sisi low-stage sangat mempengaruhi kinerja mesin pendingin. Untuk kondisi mesin cascade yang dibangun saat ini lebih cocok digunakan untuk berat 180 gr. Kinerja mesin cascade masih rendah dengan koefisien prestasi tertinggi 1.23 dan kapasitas pendinginan 0.39 kW. Kinerja mesin masih dapat dioptimalkan dengan mendesain ulang kembali heat-exchanger yang dipakai saat ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini, terutama kepada manajemen dan staf laboratorium teknik pendingin jurusan teknik mesin universitas tadulako atas segala fasilitas penelitian yang telah disediakan selama terlaksananya penelitian ini. Tidak lupa juga kami sampaikan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada segenap staf lembaga penelitian Universitas Tadulako yang telah berkontribusi dalam hal pembiayaan sehingga penelitian ini dapat terlaksana sesuai dengan yang diharapkan.

DAFTAR RUJUKAN

- Alhamid, M.I., Syaka, D.R.B., Nasruddin, 2010, "Exergy and Energy Analysis of a Cascade Refrigeration System Using R744+R170 for Low Temperature Applications", International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS, Vol. 10, No. 06, pp. 1-8.
- Althouse, A.D., Turnquist, C.H., Bracciano, A.F., 2004, "Modern Refrigeration and Air Conditioning", 18th Edition. The Goodheart-Willcox Company, Inc., Tinley Park, Illinois. USA.

- Bugaard, M.G., 2010, "Effect of frozen storage temperature on quality-related changes in fish muscle, Changes in physical, chemical and biochemical quality indicators during short- and long-term storage". PhD Thesis, National Food Institute, Technical University of Denmark.
- Dincer, I., Kanoglu, M., 2010, "Refrigeration System and Application", 2nd edition, John Wiley and Sons Ltd.
- Fiori, J.J., Lima, C.U.S., Junior, V.S., 2012, "Theoretic-Experimental Evaluation Of A Cascade Refrigeration system For Low Temperature Applications Using The Pair R22/R404a. Engenharia Térmica (Thermal Engineering)", Vol. 11 No. 1-2 June and December, p. 07-14.
- Gettu, H.M., Banshal, P.K., 2008, "Thermodynamic Analysis of an R744-R717 Cascade Refrigeration system", International Journal of Refrigeration, 31 (2008), pp.45-54.
- Hasan Basri, M., Mustafa, Anwar K., Reyhan, 2013, "Uji Kinerja Mesin Refrigerasi Cascade dengan Pasangan Refrigeran R134a dan R410A". Prosiding SNTI I A2-4, Makassar.
- Hosoz, M., 2005, "Performance Comparison of Single-Stage and Cascade Refrigeration Systems Using R134a as the Working Fluid", Turkish J. Eng. Env. Sci. 29, pp. 285-296.
- Pradipta, D., 2012, "Pengaruh Beban Pendingin Terhadap Kerja Sistem Refrigerasi Cascade Menggunakan Refrigeran Campuran Ethane dan Karbondioksida", Skripsi DTM FTUI, hal.50, Jakarta.
- Pyasi, D., Gupta, R.C., 2011, "Performance analysis of 404a/508b Cascade Refrigeration cycle for low temperature", International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), Vol. 3 No. 8 August, 6501-6507.
- Redford, D., 2008, "Pengujian Sistem Refrigerasi Cascade Menggunakan R22-R404a Dengan Variasi Tekanan Pada Low Stage", Skripsi DTM FTUI, Jakarta.
- Safitra, A.G., Putra, A.B.K., 2013, "Studi Variasi Beban Pendinginan Di Evaporator Low Stage Sistem Refrigerasi Cascade Menggunakan Heat Exchanger Tipe Concentric Tube Dengan Fluida Kerja Refrigeran Muscicol-22 Di High Stage Dan R-404a di Low Stage", Jurnal Teknik Pomits Vol. 2, No. 1, pp. 95-100.
- Wibowo, D.B., Subri, M., Hariyanto, A., 2006, "Pengaruh Variasi Massa Refrigeran R-12 dan Putaran Blower Evaporator terhadap COP pada Sistem Pengkondisian Udara Mobil, Jurnal Traksi Vol;4 No:1, 1-11.
- Xie, Y., Liu, C., Lun, L., Zhang, X., 2008, "Use of R290/R170 in Lieu of R22/R23 in Cascade Refrigeration Cycle", International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 14-17.